robotron

RÖNTGEN-GAMMA-DOSIMETER robotron M 2200

Technische Beschreibung und Bedienungsanleitung

RÖNTGEN-GAMMA-DOSIMETER robotron M 2200

VEB ROBOTRON-MESSELEKTRONIK >OTTO SCHÖN< DRESDEN
Lingnerallee 3, Postschließfach 211, Dresden, DDR-8012

Inhaltsverzeichnis

1.	Verwendungszweck	8
2.	Zusammensetzung des Gerätekomplexes	9
2.1.	Lieferumfang	9
2.2.	Ergänzungsgeräte	9
3.	Technische Daten	10
4.	Wirkungsweise	14
5.	Allgemeine Hinweise für die Inbetriebnahme	15
5.1.	Transport der Gerätes	15
5.2.	Vorbereitung zum Betrieb	16
5.3.	Anzeige des Grobmeßbereiches	16
6.	Sicherheitsmaßnahmen	17
6.1.	Anmeldung des Gerätes (nur für Anwender in der DDR)	17
6.2.	Gefahrenquellen	17
6.3.	Entaktivierung	17
7.	Betriebsanweisung	18
7.1.	Anordnung und Zweck der Betätigungs-, Anzeige- und Anschlußelemente	18
7.2.	Vorbereitung für die Durchführung der Messungen	19
7.2.1.	Kontrolle des mechanischen und elektrischen Nullpunktes und der Betriebsspannung	19
7.2.2.	Funktionskontrolle	20
7.2.3.	Kalibrierung	22
7.2.4.	Anwendung der Ergänzungsgeräte	22
7.3.	Durchführung der Messungen	23
7.3.1.	Meßbereichswahl	23
7.3.2.	Verwendung der Wandverstärkungskappe	24
7.3.3.	Ermittlung des Meßergebnisses M	25
7.3.4.	Korrektur der ermittelten Meßwerte	25
8.	Überprüfung des Gerätes	27
9.	Aufbau	28
10.	Elektrische Schaltung	28

11.	Wartung	30
12.	Reparaturhinweise	30
12.1.	Allgemeine Hinweise	30
12.2.	Sonde	31
12.3.	Anzeigeteil	31
13.	Lagerbedingungen	31
14.	Transportbedingungen	32
	Position der Bauelemente:	
	- Leiterplatte, kpl., 581 036.4	33
	- Verstärker 581 106.8	34
	- Abgleich 581 109.2	34
	- Hochohmteil 581 192.7	35
	- Leiterplatte, kpl., 551 710.1	36
	Schaltteilliste	37
	Begleitkarte	41
	Diagramm 1)	
	Diagramm 2)	Anlage
	Stromlaufplan)	

Bild 1

RÖNTGEN-GAMMA-DOSIMETER M 2200
Gesamtansicht einschließlich Zubehör

1 Tragtasche
2 Anzeigeteil
3 Verlängerungskabel
4 Tragriemen
5 Sonde mit Ionisationskammer
6 Wandverstärkungskappe

Bild 1
Рис.1
Fig. 1

Bild 2

RÖNTGEN-GAMMA-DOSIMETER M 2200

Anzeigeteil mit Sonde und Ionisationskammer

1 Ionisationskammer
2 Verriegelungsstift
3 Meßartenschalter "Grobmeßbereich"
4 Steckverbinder
5 Meßinstrument
6 Einsteller "Mechanischer Nullpunkt"
7 Einsteller "Elektrischer Nullpunkt"
8 Einsteller "Korrektion"
9 Schalter "Feinmeßbereich"
10 Schalter "Kalibrierung/Licht"
11 Schreiberanschluß (nicht sichtbar)
12 Befestigungselemente für Tragriemen
13 Befestigungselemente für Tragriemen
14 Verschlußschrauben für Batterieschächte
15 Wandverstärkungskappe

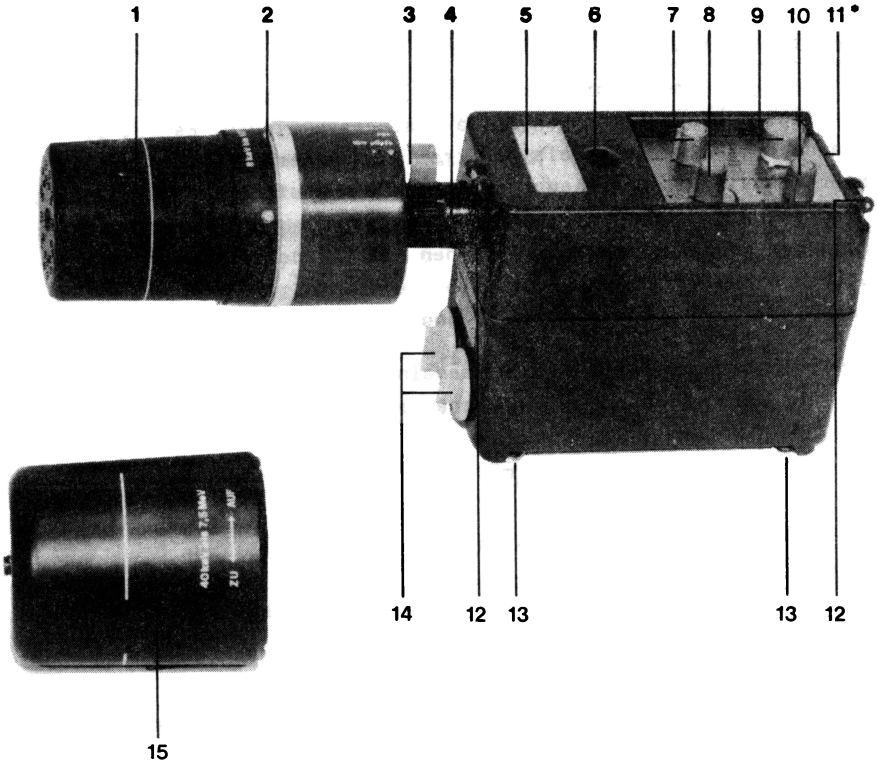


Bild 2
Рис. 2
Fig. 2

*) verdeckt / Деталь скрыта / concealed

1. Verwendungszweck

Das Röntgen-Gamma-Dosimeter M 2200 (Bild 1) ist eine Weiterentwicklung des bewährten Röntgen-Gamma-Dosimeters 27 040. Es ist ein tragbares, batteriegespeistes Strahlungsmeßgerät zur Messung der Energiedosis und Energiedosisleistung von Röntgen- und Gammastrahlung in Luft.
Nach dem Übergang zum Internationen Einheitensystem SI wurden die Größen Exposition X und Expositionsleistung $\dot{X}$ im Strahlenschutz durch die Größen Energiedosis D und Energiedosisleistung P ersetzt.

Die Energiedosis ist die je Masseneinheit Δ m absorbierte Energie ΔE, die durch Einwirkung ionisierender Strahlung übertragen wird:

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m} .$$

Die Einheit der Energiedosis ist das Gray (Gy).
Es gilt: 1 Gy = 1 J/kg.
Die Energiedosis in Luft D_L für Photonenstrahlung ergibt sich aus der Größe Exposition zu:

$$D_L = c \cdot X \quad \text{mit } c = \frac{W_L}{e} = 8{,}73 \cdot 10^{-3} \frac{Gy}{R} .$$

In der Formel bedeuten W_L den mittleren Energieaufwand für Elektronen zur Bildung eines Ionenpaares und e die Elementarladung.

Die den Dosisgrößen entsprechenden Dosisleistungsgrößen charakterisieren das Strahlungsfeld am Meßort.
Sie sind als die Dosisänderung pro Zeiteinheit definiert. Im Strahlenschutz wird als Zeitbasis die Stunde (h) benutzt, so daß sich für die Energiedosisleistung in Luft die Einheit Gy/h ergibt.

Der Meßbereichsumfang und die weitgehend energie- und richtungsunabhängige Anzeige erlauben den Einsatz des Gerätes für Strahlenschutz-, Orts- und Havariedosimetrie in der Industrie, in der Medizin, in Reaktoranlagen und in Forschung und Entwicklung.

Durch die Verwendung einer dünnwandigen Ionisationskammer, die mit einer zusätzlichen Wandverstärkungskappe versehen werden kann, lassen sich Messungen im Weichstrahlgebiet (8 keV bis 100 keV) und im Gebiet der harten Röntgen- und Gammastrahlung (40 keV bis 7,5 MeV)

durchführen. Bei Messungen ohne Wandverstärkungskappe ist auch der qualitative Nachweis von β-Strahlung möglich.
Weitere Besonderheiten des Röntgen-Gamma-Dosimeters M 2200 sind:

- direkte Kompensation von Luftdruck- und Temperatureinflüssen
- bis zu 100 m vom Anzeigeteil absetzbare Sonde
- Befestigung der Sonde auf einem Fotostativ möglich
- einschaltbare Skalenbeleuchtung
- Augang für Schreiberanschluß
- Fernanzeige der Grobmeßbereiche.

2. Zusammensetzung des Gerätekomplexes

2.1. Lieferumfang

		ZAK-Nr.
1	Röntgen-Gamma-Dosimeter M 2200, bestehend aus	138 72 23 100 003345
	1 Anzeigeteil	
	1 Sonde	
	1 Verlängerungskabel 544 037.1	
	2 Tragriemen 547 847.2	
	1 Gerätetasche 581 004.2	
	1 Wandverstärkungskappe 581 151.7	
	1 Garantieurkunde	
	1 Bedienungsanleitung	
	1 Anmeldekarte (DDR)	

2.2. Ergänzungsgeräte

	ZAK-Nr.
Verlängerungskabel 77 047 (VA-H-293), 15 m	138 72 90 004 126636
Verlängerungskabel 77 048 (VA-H-293.1), 50 m	138 72 90 004 126644
Sondenstab 75 072 (VA-H-280)	138 72 90 004 126572
Fotostativ, z. B. Reporterstativ [1]	
Kompensationsbandschreiber 10 mV [1]	

---

[1] nicht vom VEB Robotron-Meßelektronik "Otto Schön" Dresden beziehbar.

3. Technische Daten

Meßgrößen	Energiedosis in Luft Energiedosisleistung in Luft
Anzeigebereiche	$1\,\mu Sv = 0{,}1\,m?$
- Energiedosis	
1 Grobmeßbereich F1	µGy
6 Feinmeßbereiche F2 (Endwerte)	1; 3; 10; 30; 100; 300 (0,1145 mR bis 34,36 mR)
- Energiedosisleistung	
2 Grobmeßbereiche F1	10 x µGy/h und 10 x mGy/h
6 Feinmeßbereiche F2 (Endwerte)	1; 3; 10; 30; 100; 300 (1,145 mR/h bis 343,6 mR/h bzw. 1,145 R/h bis 343,6 R/h)
Energiebereich	
- Ionisationskammer ohne Wandverstärkungskappe	8 keV bis 100 keV
- Ionisationskammer mit Wandverstärkungskappe	40 keV bis 7,5 MeV
Strahlungsdetektor	offene Ionisationskammer
- Volumen	etwa 600 cm^3
- Wandflächenmasse	etwa 35 mg/cm^2 luftäquivalent
Wandverstärkungskappe (abnehmbar)	
- Wandflächenmasse	etwa 500 mg/cm^2
Kammerschwerpunkt	6 cm von Stirnfläche der Wandverstärkungskappe, zentral
Überlastbarkeit	
- Energiedosis	bis 900 µGy
- Energiedosisleistung	bis 9000 mGy/h
- Dauer der Überlastung	≦ 300 s
- minimale Erholzeit nach Überlastung	600 s
Grundfehler (bei Referenzbed.)	±15 %

Referenzbedingungen:
Temperatur 20 °C ± 2 K, Luftdruck 93,3 bis 104 kPa (933 bis 1040 mbar ≈ 700 bis 780 Torr), durchgeführte Korrektor des Luftdichte-

einflusses, Einstrahlung radial (senkrecht zur Sondenachse), Bezugswert der effektiven Quantenenergie 86 keV, Gebrauchslage des Anzeigeteils waagerecht, Abstand Kammerschwerpunkt - Strahlenquelle ≧ 0,8 m.

Zusatzfehler

- Energieabhängigkeit im Bereich	
8 keV bis 15 keV	-30 %
15 keV bis 2,0 MeV	±10 %
2,0 MeV bis 7,5 MeV	±50 %
- Richtungsabhängigkeit der Anzeige im Winkelbereich von ±5° (Sondenachse zur Senkrechten)	±5 %
- bei beliebiger Einstrahlungsrichtung im Winkelbereich 0 bis 90° (axiale Einstrahlung)	±10 %
- Temperaturabhängigkeit (ohne Einfluß von Luftdichteänderungen)	±3 %/10 K
- Sättigungsdefizit bei 3000 mGy/h	-5 %

Nullpunktfehler

- nach Nullpunktkompensation	kompensiert
- Nullpunkt (bezogen auf den Feinmeßbereichsfaktor F2)	$\frac{\pm 2\ \%/K}{F2}$
Fehler im Zeitraum von 10 bis 300 min nach Überlastung (bezogen auf den Feinmeßbereichsfaktor F2)	$\pm\ \frac{30\ \%}{F2}$

Fehler durch Grundstrom

- im Bereich 10 µGy/h	9 % v. Endausschlag
- im Bereich 30 µGy/h	3 % v. Endausschlag
- in den Dosisbereichen	0,015 µGy pro Minute
Einlaufzeit nach Einschalten des Gerätes oder Umschaltung des Grobmeßbereiches	max. 120 s

Einstellzeit der Anzeige bis zum Erreichen von 95 % des Skalenendwertes in den Dosisleistungsbereichen	
- 10 µGy/h	20 s
- 30 µGy/h	10 s
- in übrigen Bereichen	8 s
Kontrolleinrichtungen	
- Funktionskontrolle und Kalibrierung	Kontrollstrahlenquelle Typ QA 0,26 MBq ≈ 7 µCi $^{90}Sr/^{90}Y$
- Kontrolle der Betriebsspannung	markierter Bereich am Meßinstrument
Ausgang für Schreiberanschluß	10 mV an 200 Ω bei Anzeige des Skalenendwertes
Betriebsbedingungen	
- Stromversorgung	Batteriesatz (wahlweise) 6 Zellen R20 TGL 7487 A,B,C oder 6 gasdichte NC-Rundzellen KRL3 TGL 22807 (IEC-KR35/62 (R20)) - speziell bei Temperaturen unter 5 °C
- Ununterbrochene Betriebsdauer ohne Beleuchtung mit Zellen R20	etwa 200 h
- Betriebsspannungsbereich	5 bis 9 V
- Stromaufnahme bei 9 V Betriebsspannung	
ohne Skalenbeleuchtung	(20 ± 4) mA
mit Skalenbeleuchtung	LED aus: (52 ± 13) mA LED ein: (61 ± 16) mA
- Einsatzfähigkeit des Gerätes bei einem Luftdruck von	93,3 bis 104 kPa (≈700 bis 780 Torr)
Abmessungen	
- Anzeigeteil (L x B x H)	etwa 245 mm x 125 mm x 180 mm
- Sonde (Ø x H)	etwa 112 mm x 260 mm

Masse	
- Anzeigeteil ohne Zellen	etwa 2,3 kg
- 6 Stck. Zellen R20	etwa 0,6 kg
- Sonde	etwa 1,2 kg
- Gerätetasche	etwa 2,0 kg
Einsatzbedingungen nach TGL 14283/05	Einsatzgruppe B
Klimatische Bedingungen nach TGL 14283/05	
Nennarbeitsbedingungen	
- Umgebungstemperatur	-10 bis +45 °C [1]
- relative Luftfeuchte	max. 80 %
- Wasserdampfdruck	2,66 kPa (≈ 20 Torr)
Mechanische Festigkeit nach TGL 200-0057	Beanspruchungsgruppe G31
Festigkeitsprüfungen	Fc 10/500-0,15/20-30/3
Schutzgrad nach TGL RGW 778	
- Anzeigeteil	IP 40
- Sonde mit Wandverstärkungskappe	IP 40
Strahlenschutzbauartzulassung (Gbl. I, Nr. 24, S. 265, vom 19.10.88)	SBZ 080379 vom 9.4.79 mit Ergänzung vom 28.8.89

Schutzgüte ist gewährleistet. Es gibt keine verbleibenden Gefährdungen oder Erschwernisse.

Transport und Versand in der Verpackung des Herstellers.

---

1) Dieser Bereich kann evtl. durch die verwendeten Batterien eingeengt werden. Für Schäden, die mit der Überschreitung der Lager- und Arbeitstemperaturen der Zellen in Verbindung stehen, übernimmt der Hersteller keine Garantie.
Ferner wird empfohlen, die Zellen, insbesondere R20-Zellen, vor längerer Lagerung des Gerätes oder bei Erreichen der Entladeschlußspannung (siehe Abschnitt 7.2.1) aus dem Gerät zu entfernen.

4. Wirkungsweise (Bild 3)

Unter Einwirkung ionisierender Strahlung wird von der Ionisationskammer, die sich in einem Strahlungsfeld mit der Energiedosisleistung P_L befindet, ein Strom I_K abgegeben.
Im Zustand der Sättigung erreicht er bei einem Kammervolumen V und der Luftdichte ρ die Größe

$$I_K = k \cdot \rho \cdot V \cdot P_L \quad ,$$

wobei die Proportionalitätskonstante $k = 8{,}21 \cdot 10^{-6} \frac{A \cdot h}{kg \cdot Gy}$ ist.

Die von der Stromversorgung gelieferte Kammerspannung ist so hoch, daß keine wesentliche Rekombintion der geladenen Teilchen eintreten kann. Der Strom I_K wird dem invertierenden Eingang des Meßverstärkers A zugeführt.
Der Schalter S1 ermöglicht die Einstellung der Grobmeßbereiche, der Spannungsteiler R2 die der Feinmeßbereiche.

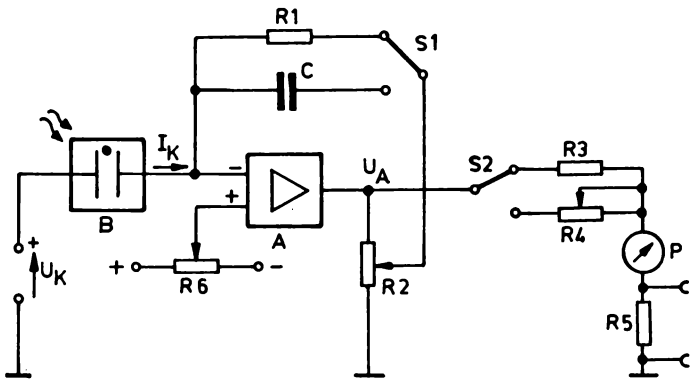


Bild 3
Übersichtsschaltplan

Die Ausgangsspannung U_A des Verstärkers beträgt

$$U_A = -\frac{1}{A} \cdot R_1 \cdot I_K$$ für die Energiedosisleistungsbereiche

und $$U_A = -\frac{1}{A} \cdot \frac{1}{C} \int I_K dt$$ für die Energiedosisbereiche.

Die Konstante A wird aus dem Feinmeßbereichsfaktor F2 und einem Umrechnungsfaktor gebildet. Näherungsweise gilt:

$$A \approx 2{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot F2 \quad \text{mit } F2 = 300, 100, 30, 10, 3, 1$$

Der Strom, der durch das Meßinstrument fließt, ist der Ausgangsspannung proportional. Mit dem Einsteller R4 (Korrektion) ist eine Korrektur des Einflusses von Luftdichteänderungen auf die Anzeige möglich. Über den Widerstand R5 steht eine der Anzeige proportionale Spannung niederohmig zum Anschluß eines Schreibers zur Verfügung. Der Einsteller R6 (Nullpunkt) dient zur Kompensation der Offsetspannung des Verstärkers.

Ein Transverter stellt die Betriebsspannungen für den Verstärker sowie die Hochspannung für die Ionisationskammer bereit.

5. Allgemeine Hinweise für die Inbetriebnahme (Bild 2)

5.1. Transport des Gerätes

Je nach Einsatzbedingungen kann das Gerät stationär oder mobil betrieben werden. Hierfür sind folgende Möglichkeiten zum Transport (Hinweise im Abschnitt "Transportbedingungen" beachten!) des Gerätes gegeben:

- Tragen mit Einfachriemen
  Die beiden Karabinerhaken des Tragriemens werden in die beiden Bolzen (12) am Oberteil des Anzeigeteiles eingehakt.

- Tragen mit Kreuzriemen
  Die beiden Tragriemen sind kreuzweise am Gerät so anzubringen, daß ein Karabinerhaken am Gehäuseoberteil (12) und der andere am Gehäuseunterteil (13) eingehakt wird.

-- Tragen mit Gerätetasche
Bei kurzzeitigen Messungen ist es möglich, die Gerätetasche als Bereitschaftstasche zu verwenden und das Anzeigeteil während der Messung in der Tasche zu belassen.

5.2. Vorbereitung zum Betrieb

Die Sonde wird direkt oder über das zum Lieferumfang gehörende Verlängerungskabel bzw. ein bis zu 100 m langes Verlängerungskabel mit dem Anzeigeteil über den Steckverbinder (4) verbunden. Der Gerätestecker (4) der Sonde kann gleichzeitig als Handgriff benutzt werden.
Diese Anschlußmöglichkeit sowie die Verwendung eines Kompensationsbandschreibers entsprechen den praktischen Forderungen bei Strahlenschutz- und Überwachungsmessungen.
Das Gerät wird ohne Batterien ausgeliefert. Vor der Inbetriebnahme sind daher je 3 Zellen mit dem Pluspol (Kontaktkappe) zuerst in die beiden Batterieschächte einzusetzen.
Der Schalter "Feinmeßbereich" (9) befindet sich in Stellung "0" (Aus).
Die Sonde wird beim Hersteller zusammen mit einem Beutel Trockenmittel in einem Plastbeutel verschlossen.
In dieser Verpackung ist sie bis zum Einsatz des Gerätes zu belassen.

5.3. Anzeige des Grobmeßbereiches

Bei Betrieb mit abgesetzter Sonde (s. a. 5.2) wird der eingestellte Grobmeßbereich (3) durch Leuchtdioden im Fenster des Meßinstrumentes (5) angezeigt. Diese Anzeige ist nur bei eingeschalteter Skalenbeleuchtung wirksam.

Für die Grobmeßbereiche gelten folgende Farbzuordnungen:

μGy - gelb
10 x mGy/h - rot
10 x μGy/h - grün

6. Sicherheitsmaßnahmen

6.1. Anmeldung des Gerätes (nur für Anwender in der DDR)

Für das Röntgen-Gamma-Dosimeter M 2200 liegt die Strahlenschutzbauartzulassung des Staatlichen Amtes für Atomsicherheit und Strahlenschutz (SAAS) der DDR vor (SBZ 080379 vom 9.4.79 mit Ergänzung vom 28.8.89).
Der Betrieb des Gerätes in der DDR ist genehmigungsfrei, jedoch meldepflichtig. Der Erwerb dieses Gerätes ist daher auf der beiliegenden Anmeldekarte dem SAAS der DDR mitzuteilen.

6.2. Gefahrenquellen

- Bei Zerstörung oder Entfernen der Ionisationskammer können im eingeschalteten Zustand Berührungsspannungen bis 550 V auftreten, wobei der maximal zulässige Strom von 2 mA nicht überschritten wird.
- Beim Einschalten der Kontrollanzeige ohne Wandverstärkungskappe infolge von nichtzulässigen Manipulationen (Verriegelungsstift der Blendenbetätigung mit der Hand heruntergedrückt usw.) tritt an der Oberfläche der Ionisationskammer eine erhöhte Dosisleistung von etwa 40 µGy/h auf.

Derartige Manipulationen sowie das Arbeiten an der Kontrollstrahlenquelle stellen eine Gefährdung durch ionisierende Strahlung dar und sind deshalb unzulässig.

6.3. Entaktivierung

Ist damit zu rechnen, daß das Gerät beim Einsatz mit radioaktiven Stoffen verunreinigt (kontaminiert) wurde, ist eine sachgemäße Reinigung von Anzeigeteil, Sondengehäuse und abgenommener Wandverstärkungskappe (z. B. mit einem mit Netzmittel-Lösung, z. B. Fit, angefeuchteten Tuch) vorzunehmen. Polystyrollösende Mittel, wie benzin-, benzol- oder azetonhaltige Substanzen, dürfen nicht verwendet werden.
Die Entaktivierung (Dekontamination) der aus Schaumpolystyrol bestehenden Ionisationskammer ist wegen der geringen Flächenmasse

und der Oberflächenbeschaffenheit nur unvollkommen möglich. Deshalb sollte bei Messungen, bei denen die Gefahr der Kontamination der Sonde besteht, diese mit einer Schutzumhüllung (z. B. Perfol- oder Polyäthylenbeutel) versehen werden.

7. Betriebsanweisung

7.1. Anordnung und Zweck der Betätigungs-, Anzeige und Anschlußelemente (Bild 2)

1	Ionisationskammer	für Messungen im Weichstrahlgebiet und qualitativen Nachweis von ß-Strahlung geeignet
2	Verriegelungsstift	bedingt eine Zwangsverriegelung der Schaltstellung "▼", so daß ohne aufgesetzte Wandverstärkungskappe die Kontrollstrahlungsquelle nicht freigegeben werden kann
3	Meßartenschalter "Grobmeßbereich"	mit den Stellungen µGy — Energiedosis 10x mGy/h — Energiedosisleistung ▸o◂ — Null 10x µGy/h — Energiedosisleistung ▼ — Kontrolle Die Stellung des Schalters wird bei beleuchteter Skale (siehe 10) am Anzeigerät durch Leuchtdioden am Anzeigefenster des Meßinstrumentes angezeigt.
4	Steckverbinder (X1/X2)	dient zum Anschluß der Sonde an das Anzeigeteil (direkt oder über Kabel)
5	Meßinstrument (P1)	mit 30er und 100er Skale
6	Einsteller "Mechanischer Nullpunkt"	am Meßinstrument P1
7	Einsteller "Elektrischer Nullpunkt" ▸o◂ (R32)	dient zum Einstellen des elektrischen Nullpunktes in Stellung Null ▸o◂ des Schalters "Grobmeßbereich"

8	Einsteller "Korrektion" ▼□ (R62)	dient zur Korrektur der durch die Umwelteinflüsse (Luftdruck, Temperatur) bedingten Anzeigefehler
9	Schalter "Feinmeßbereich" ○ ⊣ ▼□ (S2)	Spannungsteiler für 6 Feinmeßbereiche, Batteriekontrolle ⊣ und Aus ○
10	Schalter "Kalibrierung/ Licht" ☑ ▼□ 🔔▼□ 🔔☑ (S3)	dient zur Wahl der Kalibrierung mit beleuchteter oder unbeleuchteter Skale des Meßinstrumentes und zum Einschalten der Anzeige des Meßartenschalters "Grobmeßbereich" (3).
11	Schreiberanschluß (X3)	BNC-Buchse für den Anschluß eines Kompensationsbandschreibers
12	Befestigungselemente	dienen zum Einhaken der Tragriemen am Oberteil
13	Befestigungselemente	dienen zum Einhaken der Tragriemen am Unterteil
14	Verschlußschrauben für Batterieschächte	
15	Wandverstärkungskappe	ist zur Messung harter Röntgen- und Gammastrahlung auf die Ionisationskammer aufzusetzen

7.2. Vorbereitung für die Durchführung der Messungen

7.2.1. Kontrolle des mechanischen und elektrischen Nullpunktes und der Batteriespannung

- Kontrolle des mechanischen Nullpunktes:
  Am Anzeigeinstrument P1 (5) ist der mechanische Nullpunkt zu kontrollieren und, falls erforderlich, mit dem Einsteller (6) zu korrigieren.
- Kontrolle der Batteriespannung:
  Schalter "Feinmeßbereich" (9) in Stellung " ⊣ " schalten.
  Die Anzeige am Meßinstrument gibt den Betriebszustand der Batterien an. Die Batteriespannung ist in Ordnung, d. h., das Gerät ist meßbereit, wenn sich die Instrumentenanzeige wie folgt einstellt:

50 bis 80 Skalenteile (oberer grüner Bereich) bei NC-Sammlern
40 bis 80 Skalenteile (oberer und unterer grüner Bereich) bei R-20-Zellen

Die Batteriespannung ist zu tief bzw. die Entladeschlußspannung ist erreicht, wenn sich der Zeiger am unteren Ende oder außerhalb der entsprechenden grünen Bereiche befindet. In diesem Falle sind die Batterien zu wechseln.

- Kontrolle des elektrischen Nullpunktes:
  Vor Beginn von Meßreihen oder nach Änderung der Umgebungstemperatur ist die Kontrolle des Nullpunktes durchzuführen:
  Meßartenschalter "Grobmeßbereich" (3) in Stellung " ▸0◂ ".

  Schalter "Feinmeßbereich" (9) in Stellung "1" schalten und elektrischen Nullpunkt am Meßinstrument kontrollieren bzw. neu einstellen.

7.2.2. Funktionskontrolle

Die Funktionskontrolle muß in einem strahlenfreien Raum durchgeführt werden. Dies ist gewährleistet, wenn beim Einschalten des empfindlichsten Dosisleistungsbereiches (10 µGy/h) die Anzeige unter 10 % des Meßbereichsendwertes liegt.

Die Funktionskontrolle erfolgt mit Hilfe der eingebauten Kontrollstrahlungsquelle, die in der Schaltstellung " ▼ " des Schalters "Grobmeßbereich" (3) wirksam wird.
(Die Schaltstellung " ▼ " entspricht in der Empfindlichkeit der Schaltstellung "10x µGy/h".)

Diese Schaltstellung kann jedoch nur mit der aufgesetzten Wandverstärkungskappe eingeschaltet werden.
Dazu ist wie folgt zu verfahren:
Schalter "Feinmeßbereich" (9) in Stellung " ▼□ ",
Schalter "Kalibrierung/Licht" (10) in Stellung " ▣ " oder mit Skalenbeleuchtung in Stellung " 🔔▣ ",
Meßartenschalter "Grobmeßbereich" (3) in Stellung " ▼ ".

Am Meßinstrument ist nun die Kontrollanzeige abzulesen. Bedingt durch das Meßprinzip einer offenen Ionisationskammer, ist sie von Luftdruck und Temperatur geringfügig abhängig und sinkt infolge

der Aktivitätsabnahme der Kontrollstrahlungsquelle in 2 Jahren um etwa 5 %.

Diese physikalisch bedingten Einflüsse werden durch eine Korrektur der Kontrollanzeige erfaßt.

Die Korrektur der Kontrollanzeige ist wie folgt durchzuführen:

Die Kontrollanzeige K ist durch Mittelwertbildung der über den Zeitraum von 1 Minute ermittelten maximalen und minimalen Anzeigewerte zu bilden.

Die Luftdruck-Temperatur-korrigierte Kontrollanzeige $K_0(t)$ ergibt sich zu

$$K_0(t) = K \cdot f \qquad f = \text{Luftdruck-Temperaturfaktor}$$

Der so ermittelte K_0-Wert sollte zum Nachweis der Funktionsfähigkeit des Gerätes wenigstens aller 6 Monate in die Begleitkarte eingetragen werden.

Der Korrekturfaktor f ist nach der Bestimmung von Luftdruck p und Temperatur ϑ aus dem Diagramm 1 oder nach folgender Gleichung zu ermitteln:

$$f = \frac{101{,}3}{p/\text{kPa}} \cdot \frac{273 + \vartheta/°C}{293} \quad \text{bzw.} \quad \frac{760}{p/\text{Torr}} \cdot \frac{273 + \vartheta/°C}{293}$$

Die zulässige maximale Abweichung der Luftdruck-Temperatur-korrigierten Kontrollanzeige K . f darf bei Referenzbedingungen bis zu $\pm$10 % von dem mit dem Abklingfaktor S korrigierten Bezugswert $K_0(0)$ der in der Begleitkarte angegebenen Kontrollanzeige betragen.

Wird die zulässige Toleranz von $\pm$10 % überschritten, so ist unter Beachtung von Abschnitt 11 das Gerät zur Überprüfung dem Kundendienst des VEB Robotron-Meßelektronik "Otto Schön" Dresden zuzuführen, da die angegebene Meßgenauigkeit nicht mehr gewährleistet ist. Nach der Reparatur ist eine Neueichung erforderlich.

7.2.3. Kalibrierung

Die Kalibrierungsart wird je nach Meßaufgabe und Umgebungsbedingungen mit dem Schalter "Kalibrierung/Licht" (10) gewählt.
In der Stellung " ▣ " hat das Gerät eine konstante, vom Hersteller eingestellte Empfindlichkeit, die eine rechnerische Korrektur der Meßwerte erfordert, wenn die Umgebungsbedingungen von den Standardbezugsbedingungen [1] abweichen.
In der Stellung " ▼□ " ist die Empfindlichkeit von Hand mit dem Einsteller "Korrektion" (8) (gemäß Abschnitt 7.3.4.1) so zu verändern, daß die auf Standardbezugsbedingungen bezogenen Meßwerte direkt ablesbar sind. Dieses Verfahren bringt eine wesentliche Vereinfachung der Bedienung, deshalb sollte es weitgehend angewandt werden.

7.2.4. Anwendung der Ergänzungsgeräte

Verlängerungskabel 77 047, 77 048

Bei Verwendung eines Verlängerungskabels 77 047 bzw. 77 048 kann die Sonde bis zu 100 m vom Anzeigeteil abgesetzt betrieben werden. Befindet sich die Sonde an einem Ort, an dem andere Umgebungsbedingungen herrschen (Luftdruck, Temperatur), so ist eine rechnerische Korrektur der Meßwerte gemäß Abschnitt 7.3.4.2 mit den an der Sonde herrschenden Umgebungsbedingungen vorzunehmen. Der elektrische Nullpunkt ist nach Absetzen der Sonde nochmals gemäß Abschnitt 7.2.1 zu überprüfen, eventuelle Nullpunktabweichungen sind zu korrigieren.

Sondenstab 75 072 (VA-H-280)

Wird die Sonde am Sondenstab befestigt, so ist die Ermittlung von Meßwerten aus einer strahlengeschützten Position bzw. an sonst nur schwer erreichbaren Meßpunkten möglich.

Fotostativ

Die Sonde hat ein $\frac{3}{8}$ -Zollgewinde zur Befestigug an einem handelsüblichen Fotostativ (z.B. Reporterstativ), welches evtl. über ein Zwischenstück mit der Sonde verbunden werden kann.

---

[1] 101,3 kPa ≈ 760 Torr, 20 °C

Kompensationsbandschreiber

An der Buchse (11) des Anzeigeteiles steht niederohmig eine der Anzeige proportionale Spannung zur Verfügung, so daß der Anschluß eines Kompensationsbandschreibers zur Registrierung von Meßvorgängen möglich ist.

7.3. Durchführung der Messungen

7.3.1. Meßbereichswahl

Der sehr große Meßbereichsumfang wird mit Hilfe von zwei Meßbereichsschaltern unterteilt. Mit dem Schalter "Grobmeßbereich" (3), der sich an der Sonde befindet, wird der jeweilige Grobmeßbereichsfaktor F1 "10x mGy/h", "10x µGy/h" oder "µGy" vorgewählt.
Mit dem Schalter "Feinmeßbereich" (9) läßt sich durch 6 Feinmeßbereichsfaktoren F2 eine Untersetzung von 300 einstellen.

Bei Dosisleistungen unbekannter Größe ist es zweckmäßig, die Messung zunächst im unempfindlichen Meßbereich (F1 in "10x mGy/h", F2 in "300") zu beginnen und dann entsprechend der Anzeige auf kleinere Meßbereiche umzuschalten.
Liegt die Anzeige im Meßbereich F2 = "1" im 1. Skalendrittel, so ist wieder in Stellung F2 = "300" zu schalten und dann der Schalter "Grobmeßbereich" in Stellung F1 = "10x µGy/h" zu schalten.
Bei diesem Schaltvorgang ist in der Stellung " ▸0◂ " (Nullstellung) etwa 5 s zu verweilen, um den Einfluß der gleichzeitig erfolgenden Kammerspannungsänderung weitestgehend zu verringern.
Ein Zeigerausschlag beim Um- und Weiterschalten von " ▸0◂ " nach "10x µGy/h" rührt von Restumladungen der Kammerkapazität her und verschwindet nach 120 s.

Bei der Messung der Dosis im Bereich F1 = "µGy" ist grundsätzlich der unempfindlichste Feinmeßbreich F2 = "300" zu wählen.
Der günstigste Ablesebereich kann durch Verändern von F2 vorgenommen werden.
Vor Meßbeginn ist an der Sonde vom Grobmeßbereich F1 = "µGy" auf F1 = "10x mGy/h" zurückzuschalten, um Restladungen auf dem Integrationskondensator zu beseitigen.

Die Meßzeit beginnt mit dem erneuten Einschalten des Grobmeßbereiches F1 = "µGy".
Bezugspunkt für alle Messungen ist der markierte Kammerschwerpunkt der Sonde. Er befindet sich 6 cm von der Stirnfläche der Wandverstärkungskappe im Zentrum der Sonde.

Achtung!	Die Überschreitung der maximal zulässigen Dosis- bzw. Dosisleistungswerte kann zur Beschädigung des MOS-FETs in der Eingangsstufe führen.

7.3.2. Verwendung der Wandverstärkungskappe

Der weite Energiebereich des Röntgen-Gamma-Dosimeters M 2200 fordert es, je nach Spektrum der zu messenden Röntgen-, Brems- oder Gammastrahlung die Messung mit oder ohne Wandverstärkungskappe durchzuführen.

- Energiebereich von 40 keV bis 7,5 MeV
  Die Ionisationskammer ist mit aufgesetzter Wandverstärkungskappe zu verwenden.
  Im Energiebereich über 2 MeV ist bei Messungen an oder hinter Materialien hoher Ordnungszahl (z. B. Bleiabschirmungen) eine Überbewertung der Meßgröße möglich. Diese Überbewertung resultiert aus der Emission von Sekundärelektronen aus dem Material hoher Ordnungszahl und nimmt mit zunehmender Ordnungszahl und mit zunehmender Quantenenergie zu. Die Überbewertung kann einen zusätzlichen Fehler von maximal +50 % (7,5 MeV, Bleiabschirmung) hervorrufen.
  Damit liegen für den Strahlenschutz die Meßwerte auf der sicheren Seite, eine Unterbewertung der Meßgröße ist in der Praxis nicht zu erwarten.

- Energiebereich von 8 keV bis 100 keV
  Die Messung niederenergetischer Quantenstrahlung erfolgt mit der Ionisationskammer ohne Wandverstärkungskappe.
  Das Abnehmen der Wandverstärkungskappe hat in der Schalterstellung " ▸o◂ " des Meßartenschalters "Grobmeßbereich" (3) zu erfolgen. Die Wandverstärkungskappe ist dazu nach rechts (Richtung AUF) zu drehen und vorsichtig abzuziehen.
  Das Aufsetzen der Wandverstärkungskappe erfolgt in umgekehrter Reihenfolge (Richtung ZU), wobei besonders auf festen Sitz zu achten ist.

- Qualitativer Nachweis von ß-Strahlung
  Der Nachweis von ß-Strahlung ist für Energien $E_{max} \geqq 160$ keV bei abgenommener Wandverstärkungskappe möglich.

7.3.3. Ermittlung des Meßergebnisses M

Vor dem Ablesen des Meßergebnisses sind mindestens die jeweiligen Einstellzeiten (s. Abschnitt 3) abzuwarten. Der mit Schalter "Feinmeßbereich" (9) gewählte Meßbereichsendwert F2 = 1; 3 bis 300 und die mit Schalter "Grobmeßbereich" (3) gewählte Einheit F1 = µGy, 10 x µGy/h, 10 x mGy/h erlauben ein schnelles, direktes Ablesen des angezeigten Meßwertes M.

$$M = \frac{\alpha}{SKE} \cdot F1 \cdot F2$$

α = Anzeige
F1 = Grobmeßbereichsfaktor
F2 = Feinmeßbereichsfaktor
SKE = Skalenendwert

Zur Erhöhung der Meßgenauigkeit in den empfindlichen Meßbereichen ist es zweckmäßig, aus der über etwa 1 Minute ermittelten maximalen und minimalen Anzeige - hervorgerufen durch die statistische Schwankung - das arithmetische Mittel zu bilden.
In den beiden empfindlichsten Dosis- und Dosisleistungsbereichen ist für genaue Messungen die durch Grundstrom hervorgerufene Anzeige vom Meßwert zu subtrahieren.
Sie beträgt
- in den Dosisbereichen meßzeitabhängig 0,01 µGy pro Minute,
- in den Dosisleistungsbereichen 0,6 µGy/h.

Durch die Grundstromkorrektur reduziert sich der entsprechende Zusatzfehler auf ein Drittel.

7.3.4. Korrektur der ermittelten Meßwerte

Änderungen von Luftdruck und Temperatur bewirken in der Ionisationskammer Luftdichteänderungen, die eine Änderung der Anzeige bedingen.

Zur Erhaltung der angegebenen Fehlergrenzen sind deshalb alle Meßwerte M auf Standardbezugsbedingungen (20 °C, 101,3 kPa ≈ 760 Torr) zu beziehen. Des weiteren beeinflussen Änderungen der elektronischen

Empfindlichkeit des Gerätes, z. B. infolge von Temperatureinflüssen auf die Bauelemente, das Meßergebnis.

7.3.4.1. Korrektur der Meßwerte mit dem Einsteller "Korrektion"

Der Schalter "Kalibrierung/Licht" (10) ist in Stellung " ▼□ " oder bei Bedarf in Stellung " 🔔▼□ " und der Schalter "Feinmeßbereich" (9) in Stellung " ▼□ " zu schalten. Nach Einstellen der Kontrollstellung " ▼ " am Schalter "Grobmeßbereich" (3) ist mit dem Einsteller "Korrektion" (8) das Gerät extern zu kalibrieren. Hierzu ist der in der Begleitkarte angegebene Kontrollwert

$$K_o(0) \cdot S$$

mit dem Einsteller "Korrektion" (8) am Meßinstrument einzustellen.

Der einzustellende Kontrollwert sollte den statistischen Schwankungen durch Mittelwertbildung über eine Meßzeit von etwa einer Minute Rechnung tragen.
Luftdruck- und Temperatureinflüsse werden hierbei weitestgehend eliminiert, so daß nur der Nulleffekt zu berücksichtigen ist.
Ist dieser ≧ 1 µGy/h, so ist er zum Kontrollwert

$$K_o(0) \cdot S$$

zu addieren, soweit dies den Meßbereich " ▼□ " nicht überschreitet.
Der Meßwert M_o kann dann direkt abgelesen werden.

Nach Veränderung der Meßbedingungen (z. B. Änderung der Umgebungstemperatur) oder nach unbeabsichtigtem Verstellen des Einstellers "Korrektion" wird eine neue Kalibierung erforderlich.

7.3.4.2. Rechnerische Korrektur des Meßwertes mittels Korrekturfaktor f

Diese Möglichkeit der Korrektur berücksichtigt lediglich den Einfluß von Luftdichteänderungen auf das Meßergebnis und ist besonders bei stark erhöhtem Nulleffekt und bei Dosismessungen durchzuführen. Dabei müssen Luftdruck und Temperatur bekannt sein, um den Korrek-

turfaktor ermitteln zu können. Der Korrekturfaktor f ist aus dem Diagramm 1 zu entnehmen oder gemäß Abschnitt 7.2.2 zu berechnen.

Der korrigierte Meßwert M_o ergibt sich dann zu:

$$M_o = M \cdot f$$

M = Angezeigter Meßwert
f = Korrekturfaktor

7.3.4.3. Korrektur der Energieabhängigkeit

Bei ungefährer Kenntnis der effektiven Photonenenergie der zu messenden Strahlung ist eine rechnerische Korrektur der Energieabhängigkeit der Anzeige möglich. Dazu ist der gemäß Abschnitt 7.3.4.1 oder 7.3.4.2 ermittelte Meßwert M_o mit dem Faktor e zu multiplizieren. Der Faktor e ist der Kehrwert der Geräteempfindlichkeit ε_r gemäß Diagramm 2.
Die Korrektur der Energieabhängigkeit führt zu einer Reduzierung des Zusatzfehlers im Energiebereich von 8 keV bis 15 keV auf $\pm$10 % und im Bereich 15 keV bis 2,0 MeV auf $\pm$5 %.

8. Überprüfung des Gerätes

Das Röntgen-Gamma-Dosimeter M 2200 unterliegt als Strahlenschutzmeßgerät der Eichpflicht und ist verplombt.
Nach einer Reparatur des Gerätes oder dem Wechseln der Ionisationskammer ist außerhalb der obligatorischen Eichpflicht eine Neueichung durchzuführen.
Zum Nachweis der Funktionsfähigkeit des Röntgen-Gamma-Dosimeters M 2200 ist mindestens aller 6 Monate der K_o-Wert (Luftdruck-Temperatur-korrigierte Kontrollanzeige) gemäß Abschnitt 7.2.2 zu ermitteln und in die Begleitkarte einzutragen.
Beim Überchreiten der zulässigen Toleranz ist eine Überprüfung und Neueichung des Gerätes erforderlich.
Nähere Angaben sind den Abschnitten "Funktionskontrolle" und "Hinweise zur Fehlerbeseitigung" zu entnehmen.

9. Aufbau (Bild 1)

Das Röntgen-Gamma-Dosimeter M 2200 besteht aus dem Anzeigeteil und der Sonde. Beide Einheiten werden direkt oder über ein Verlängerungskabel miteinander verbunden.

Die Sonde besteht aus der Ionisationskammer B1, den elektronischen Baugruppen Hochohmteil mit integriertem Meßartenschalter, dem Verstärker und der Kontrollstrahlungsquelle.

Empfindliche elektronische Bauelemente im Inneren der Sonde sind durch eine gute Abdichtung und durch zusätzlich eingebrachtes Trokkenmittel (Kieselgel) vor unerwünschter Einwirkung hoher Luftfeuchte geschützt.

Das Anzeigeteil besteht aus einem Ober- und Unterteil. Im Oberteil sind das Meßwerk, die Skalenbeleuchtung, eine Leiterplatte (Transverter, Spannungsteiler F2) sowie die Bedienelemente Schalter "Feinmeßbereich", "mechanischer und elektrischer Nullpunkteinsteller", der Einsteller "Korrektion" und der Schalter "Kalibrierung/ Licht" untergebracht. Im Unterteil befinden sich zwei von außen bestückbare Batterieschächte.

10. Elektrische Schaltung

Der Meßverstärker ist als direktgekoppelter Gleichspannungsverstärker mit Differenzeingang aufgebaut. Er besteht aus MOSFET-Vorstufe, Operationsverstärker und Endstufe.

Der Doppel-MOSFET A1 arbeitet als Sourcefolger. Sein Arbeitswiderstand wird von einer Stromquelle gebildet, die aus dem Transistor V1 sowie den Widerständen R17, R21, R22 besteht.
Die Diode V2 kompensiert die Temperaturabhängigkeit der Anordnung.
Der Einstellwiderstand R16 ermöglicht eine unterschiedliche Stromaufteilung für die beiden Einzeltransistoren von A1, um vorhandene Kennlinienunterschiede auszugleichen.

Der Operationsverstärker A2 ist zur Verhinderung von Schwingerscheinungen, speziell bei angeschlossenem Verbindungskabel zwischen Sonde und Anzeigeteil, sehr stark frequenzgangkompensiert (C8, R23).
Über den Spannungsteiler R24, R25 wird die Endstufe angesteuert.
Der in Emitterschaltung betriebene Transistor V3 arbeitet auf eine

Stromquelle (V4, R27, R28, R30).
Über die Parallel-Spannungsgegenkopplung wird die erforderliche Charakteristik (Stromeingang, Spannungsausgang) für den Gesamtverstärker realisiert. Sie besteht aus dem Feinbereichsteiler R45 bis R55, wobei über dem Schalter S2:2 der entsprechende Feinmeßbereich ausgewählt werden kann, den Spannungsteilern R7, R 8 bzw. R9 und R12, R13 sowie den Höchstohm-Widerständen R2, R3 bzw. dem Kondensator C2. Letztere bewirken über den Schalter S1:1 bis S1:3 die Einschaltung des gewünschten Grobmeßbereiches (s. a. Schalterdiagramme). Die Einstellwiderstände R7 bis R9 ermöglichen einen Abgleich der Toleranz der Höchstohm-Widerstände R2, R3 und des Kondensators C2 ($\pm$5 %). Die RC-Glieder am Feinmeßbereichsteiler (R56, C15 und R57, C16) sowie der Kondensator C3 parallel zu R3 dienen wiederum der Verhinderung der Selbsterregung.
Zur Kompensation der Offsetdrift des Verstärkers dient der Einstellwiderstand R32 in Verbindung mit den Spannungsteilern R37, R40 und R38, R41 sowie R5, R6.
Der Spannungsteiler R10, R11 ermöglicht mit der Schaltebene S1:4 die Umschaltung der Kammerspannung in Abhängigkeit vom Grobmeßbereich.
Die Verstärkerausgangsspannung wird über die Widerstände R60, R61, R63, R64 dem Drehspulmeßwerk P1 zugeführt. Der Einstellwiderstand R61 dient dem Abgleich der Anzeige. In den entsprechenden Schaltstellungen von S3 wird an Stelle von R64 der Einstellwiderstand R62 eingeschaltet, der eine Anpassung der Anzeigeempfindlichkeit bei von Referenzbedingungen abweichenden Luftdruck- und Temperaturwerten ermöglicht. Über dem Widerstand R63 steht eine Spannung zum Anschluß eines Schreibers (Vollausschlag 10 mV) zur Verfügung.

Zur Anzeige der Stellung des Meßartenschalters "Grobmeßbereich" wird mit der Schaltebene S1:5 über Spannungsteiler jeder Schalterstellung eine definierte Spannung zugeordnet, die über eine Verbindungsleitung der Auswerteschaltung mit dem Ansteuerschaltkreis A 227 D zur Schaltung verschiedenfarbiger LEDs zugeführt wird.

Die Anzeige ist nur in der Stellung "Licht" des Schalters "Kalibierung/Licht" wirksam.

Zur Erzeugung der Betriebsspannungen wird ein pulsbreitengeregelter Sperrwandler eingesetzt. Die Regelung erfolgt über die als Differenzverstärker geschalteten Transistoren V5 und V7 (Soll-Ist-

wert-Vergleich) und den Regelverstärker mit den Transistoren V6 und V8.

11. Wartung

- Batteriewechsel

Das Auswechseln der Batterien wird notwendig, wenn, wie im Abschnitt 7.2.1 beschrieben, die grün gekennzeichneten Skalensegmente unterschritten werden. Die Batterien lassen sich nach Lösen der beiden Verschlußschrauben (14) am Unterteil des Anzeigeteiles auswechseln.

> Achtung! Je 3 Batterien mit Pluspol (Kontaktkappe zuerst in die Batterieschächte einschieben.
> Bei Bestückung mit R20-Zellen ist darauf zu achten, daß das Gerät nicht längere Zeit mit verbrauchten Batterien lagert, da sonst das Kontaktmaterial durch den austretenden Elektrolyt angegriffen wird.

- Trocknen der Sonde

Wird das Gerät nach Lagerung an der unteren Temperaturgrenze an einen Ort mit höherer Temperatur und hoher Luftfeuchte gebracht, kommt es zum Betauen des Gerätes. Hierdurch kann sich kurzzeitig ein erhöhter Grundstrom (> 1 µGy/h) ergeben. In diesem Falle sollte das Abtrocknen der Sonde vor dem Meßbeginn abgewartet werden. Eine Beschleunigung des Trockenvorganges kann erfolgen, wenn die Sonde bei etwa 50 °C und niedriger relativer Luftfeuchte ($\varphi < 20$ %) und bei abgenommener Wandverstärkungskappe in einen Wärmeschrank oder an eine Luftdusche gebracht wird.

12. Reparaturhinweise

12.1. Allgemeine Hinweise

Bei der Reparatur muß beachtet werden, daß das Röntgen-Gamma-Dosimeter M 2200 als Strahlenschutzmeßgerät der Eichpflicht unterliegt und gegen Eingriffe von außen durch Plombierung geschützt ist. Wird die Plombierung beschädigt, werden Bauelemente oder die Ionisationskammer ausgewechselt, so ist außerhalb der obligatorischen Eichpflicht eine Neueichung vorzunehmen.

12.2. Sonde

Von Eingriffen in die Sonde ist auf Grund der Hochohmigkeit, der schwierigen Justierung und der Strahlenquelle abzuraten. Das Auswechseln von Bauelementen macht einen neuen Abgleich des Gerätes erforderlich. Dazu steht der Kundendienst des VEB Robotron-Meßelektronik "Otto Schön" Dresden oder eine andere anerkannte Vertragswerkstatt zur Verfügung.
Diese sollte im allgemeinen auch die Regenerierung des Kieselgels durchführen, wenn infolge extremer Feuchteeinwirkung auf die Sonde der Grundstrom unzulässig hoch wird. Die Regenerierung erfolgt durch Ausheizen des Kieselgels bei 120 °C bis 160 °C über zwei bis drei Stunden.

Achtung! Hinweise im Abschnitt "Sicherheitsmaßnahmen" beachten.

12.3. Anzeigeteil

Die Bauelemente des Anzeigeteiles sind nach Lösen der am Bodenteil befindlichen 4 Zylinderschrauben und Abnahme des Gehäuseunterteiles zugänglich. Bei Bedarf kann die mit einer Halteschraube befestigte .eiterplatte herausgeschwenkt werden. Nach Lösen der unter der .eiterplatte befindlichen 4 Linsenkopfschrauben und Abnehmen der Bedienungselemente kann das Chassis herausgenommen werden. Damit sind alle anderen Bauelemente zugänglich.

13. Lagerbedingungen nach TGL 14283/10

	in Verpackung	ohne Verpackung
- Umgebungstemperatur	0 bis +45 °C [1)]	+10 bis +35 °C [1)]
- relative Luftfeuchte	max. 80 % bei +35 °C	max. 80 % bei +25 °C

1) Dieser Bereich kann evtl. durch die verwendeten Batterien eingeengt werden. Für Schäden, die mit der Überschreitung der Lager- und Arbeitstemperaturen der Zellen in Verbindung stehen, übernimmt der Hersteller keine Garantie.
Ferner wird empfohlen, die Zellen, insbesondere R20-Zellen, vor längerer Lagerung des Gerätes oder bei Erreichen der Entladeschlußspannung aus dem Gerät zu entfernen.

Vor einer Langzeitlagerung sind die Batterien zu entfernen.
Bei Betauung des Gerätes ist eine Trocknung der Sonde vorzunehmen.
(siehe Abschnitt "Wartung").

Eine Lagerung in chemisch aggressiven und polystyrollösenden Dämpfen ist nicht zulässig.

14. Transportbedingungen

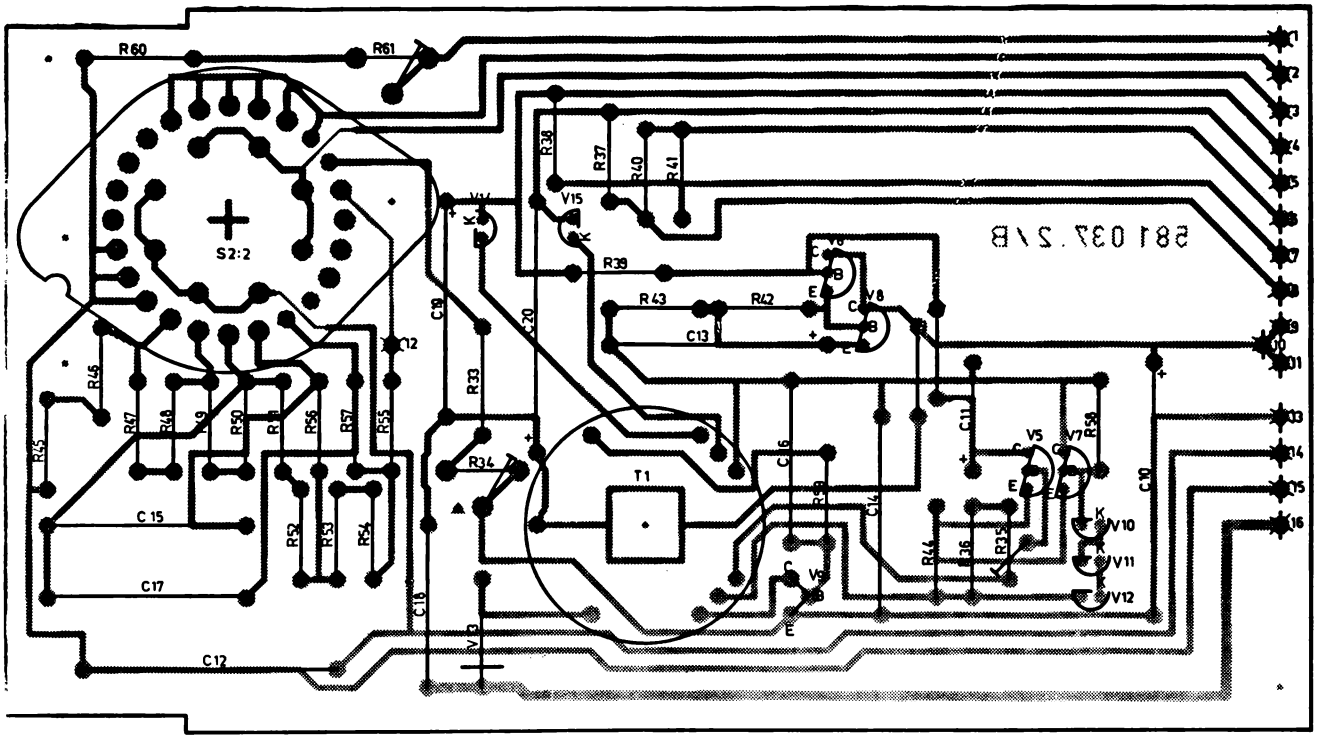
- Umgebungstemperatur	-25 bis +55 °C [1]
- relative Luftfeuchte	max. 95 % bei +25 °C

Folgende Grundregeln sind beim Transport und Umgang unbedingt zu beachten:

- Jeglicher Transport der Sonde, ganz gleich, ob in der Gerätetasche oder anderen Gefäßen, hat mit aufgesetzter Wandverstärkungskappe zu erfolgen.
- Die Ionisationskammer der Meßsonde ist vor mechanischer Beschädigung zu schützen (ein Ablassen der Sonde ohne Wandverstärkungskappe in Behälter ist nur mit geeigneten Schutzvorrichtungen zulässig).
- Das mitgelieferte Verlängerungskabel ist stets im dafür vorgesehenen Fach der Tragetasche abzulegen, da Beschädigungen durch Unterschreiten des Mindestbiegeradius des Kabels möglich sind.
- Das Stapeln mehrerer Tragetaschen mit Geräten ist nicht zulässig.

---

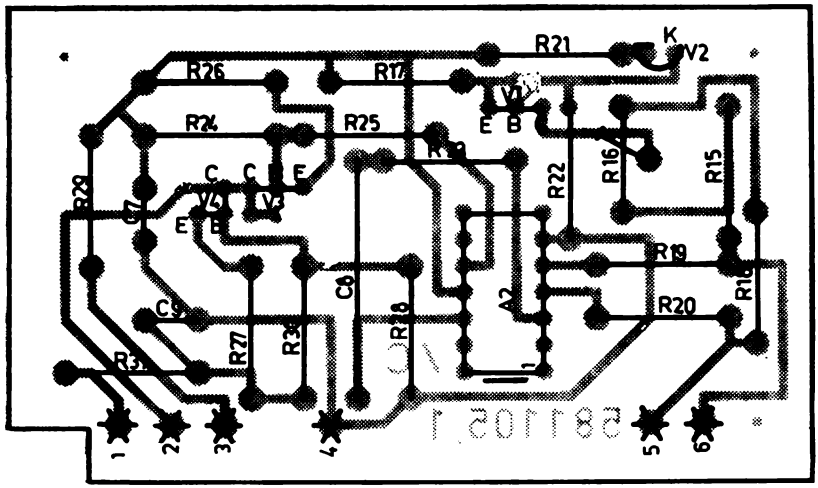
[1] Dieser Bereich kann evtl. durch die verwendeten Batterien eingeengt werden. Für Schäden, die mit der Überschreitung der Lager- und Arbeitstemperaturen der Zellen in Verbindung stehen, übernimmt der Hersteller keine Garantie.
Ferner wird empfohlen, die Zellen, insbesondere R20-Zellen,vor längerer Lagerung des Gerätes oder bei Erreichen der Entladeschlußspannung aus dem Gerät zu entfernen.



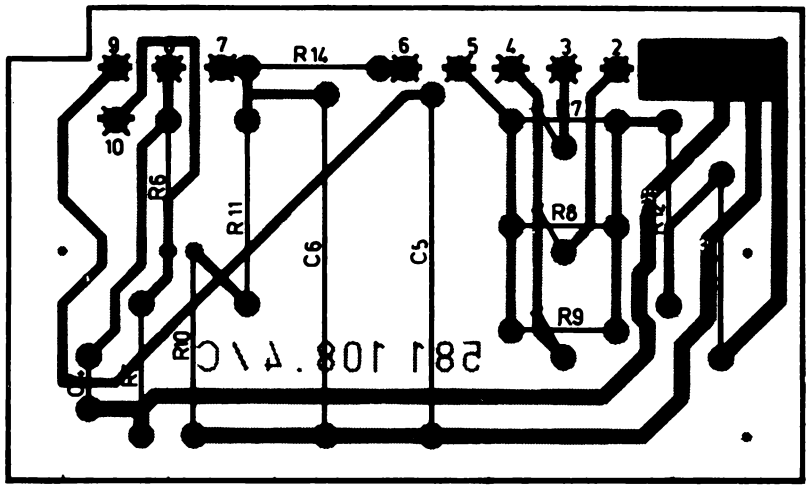
Position der Bauelemente
Расположение деталей
Component Location

Ansicht Bestückungsseite
Вид со стороны оснащения В
View of Insertion End

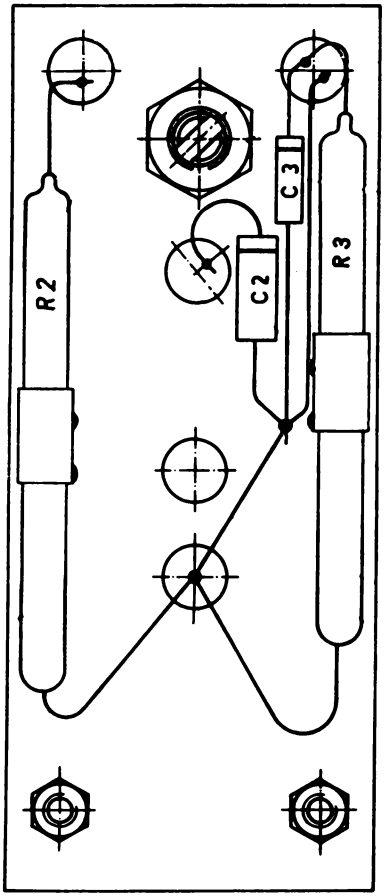
LEITERPLATTE, KPL. 581 036.4



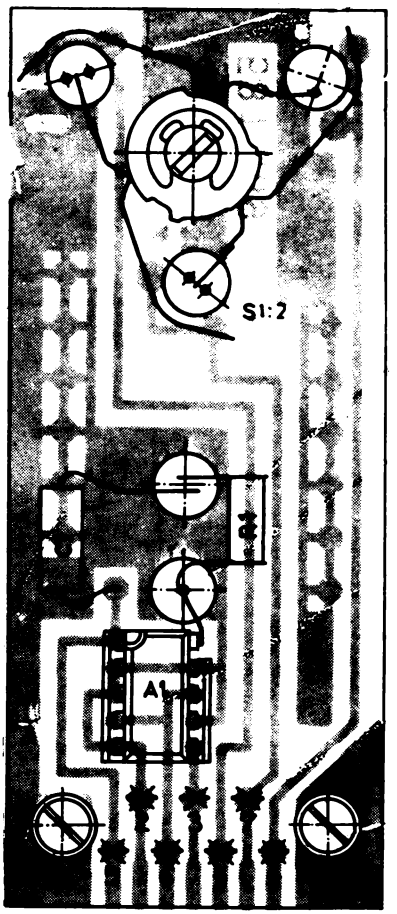
Ansicht Bestückungsseite B VERSTÄRKER 581 106.8
Вид со стороны оснащения
View of Insertion End



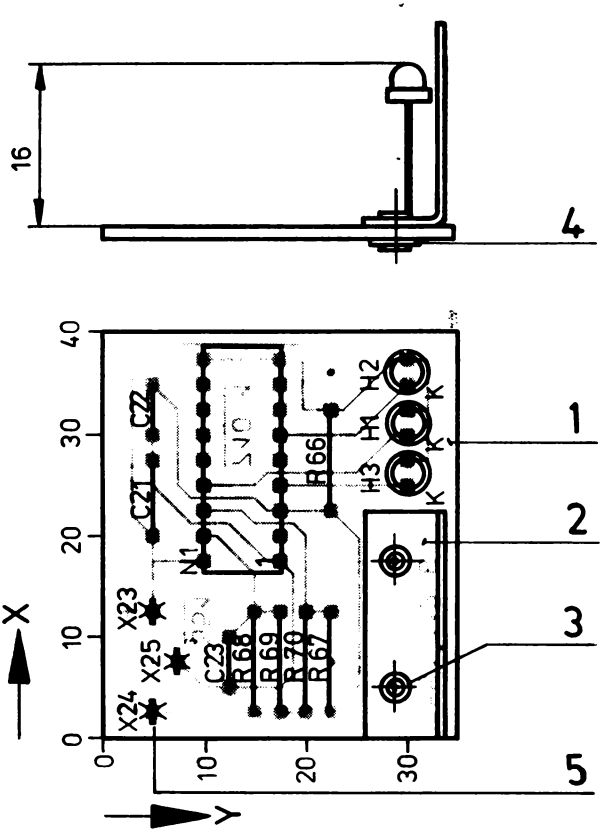
Position der Bauelemente C ABGLEICH 581 109.2
Расположение деталей
Component Location



Ansicht Bestückungsseite
Вид со стороны оснащения
View of Insertion End



Position der Bauelemente
Расположение деталей
Component Location



Position der Bauelemente
Расположение деталей
Component Location

Ansicht Bestückungsseite
Вид со стороны оснащения
View of Insertion End

O LEITERPLATTE,KPL., 1.40.551710.1

Schaltteilliste | Спецификация деталей схемы | List of Circuit Elements

Erläuterung der Abkürzungen

DS	Drehschalter	KS-Kondensator	Polystyrol-Kondensator
DWF	Drahtwiderstand, fest	KT-Kondensator	Polyester-Kondensator
DWV	Drahtwiderstand, veränderbar	MKC-Kondensator	Polycarbonat-Kondensator, metallisiert
SPTLG	Spannungsteiler, logarithmisch		
SPTLIN	Spannungsteiler, linear	MKL-Kondensator	Lack-Kondensator, metallisiert
STT	Stromteiler	MKT-Kondensator	Polyester-Kondensator, metallisiert
SWF	Schichtwiderstand, fest		
SWV	Schichtwiderstand, veränderbar	T-Kondensator	Tantal-Kondensator
WN	Widerstandsnetzwerk		

Hinweise

- Tritt die gleiche (Schaltteil-) Kurzbezeichnung mehrmals hintereinander auf, z. B. bei Widerständen, so handelt es sich um Abgleichbauelemente. Der zuerst genannte Wert ist der Sollwert.
- Sind zur Schaltteilliste weitere Erläuterungen notwendig, so werden an den betreffenden Stellen, vorzugsweise in der Spalte "Bezeichnung", Hinweise auf Fußnoten gegeben. Die Fußnoten selbst befinden sich am Ende der Schaltteilliste.

Пояснение сокращений

DS	Поворотный переключатель	KS-Kondensator	Полистироловый конденсатор
DWF	Проволочный резистор, постоянный	KT-Kondensator	Полиэфирный конденсатор
DWV	Проволочный резистор, переменный	MKC-Kondensator	Поликарбонатный конденсатор, металлизированный
SPTLG	Делитель напряжения, логарифм.		
SPTLIN	Делитель напряжения, линейный	MKL-Kondensator	Лакопленочный конденсатор, металлизированный
STT	Делитель тока		
SWF	Пленочный резистор, постоянный	MKT-Kondensator	Полиэфирный конденсатор, металлизированный
SWV	Пленочный резистор, переменный		
WN	Резисторная схема	T-Kondensator	Танталовый конденсатор

Перевод всех других немецких понятий содержится в прилагаемом перечне слов.

Указание

- Если в спецификации деталей схемы встречаются одинаковые краткие обозначения, следующие одно за другим, напр., у резисторов, то это уравновешивающие элементы. Первое указанное значение является номинальным.
- Другие необходимые пояснения к спецификации деталей, стоящие преимущественно в графе "Обозначение", приводятся в сносках в конце спецификации.

Explanations and Abbreviations Used:

DS	Rotary switch	KS-Kondensator	Polystyrene capacitor
DWF	Wirewound resistor, fixed	KT-Kondensator	Polyester capacitor
DWV	Wirewound resistor, variable	MKC-Kondensator	Polycarbonate capacitor, metallized
SPTLG	Voltage divider, logarithmic		
SPTLIN	Voltage divider, linear	MKL-Kondensator	Lacquer film capacitor, metallized
STT	Current divider		
SWF	Film resistor, fixed	MKT-Kondensator	Polyester capacitor, metallized
SWV	Film resistor, variable		
WN	Resistor network	T-Kondensator	Tantalum capacitor

As to the translation of the other German terms, refer to the list included.

NOTES

- When the same Ref. Designation of components occurs several times in succession, e.g., for resistors, this denotes adjusting elements. The value given first is the nominal value.
- When further explanations of the list of circuit elements are needed, reference is made to footnotes on the corresponding places, preferably under the column "Description". The footnotes themselves are included at the end of the list of circuit elements.

Kurzbezeichn.	Gegenstands-nummer	B e z e i c h n u n g

ROENTGEN-GAMMA-DOSIMETER M 2200

A1	1.40.551765.7	SONDE
A5	1.40.551758.5	OBERES GEHAEUSE MIT BAUGRUPPEN
X20		
UND X21	0.0381.9921.3	FLACHSTECKHUELSE 2,8-0,2 TGL 43827 BD

A1 SONDE 1.40.551765.7

A2	1.40.581192.7	HOCHOHMTEIL
X1	1.40.551733.5	BUCHSENTRAEGER

A2 HOCHOHMTEIL 1.40.581192.7

A1	1.40.818994.3	TRANSISTOR SMY 60 TLAB KA-4-79
C1	0.0381.0073.6	KS-KONDENSATOR 22/20/630 TGL 5155
C2	0.0380.1212.5	KS-KONDENSATOR 330/5/63 TGL 5155
C3	0.0380.1212.5	KS-KONDENSATOR 330/5/63 TGL 5155
R1	0.0382.2591.6	SWF 10 MOHM 5% 25.412.1 TGL 8728
R2	0.0381.2831.2	SWF 1 TOHM 5% 45.652 TGL 38283
R3	0.0381.9800.3	SWF 1 GOHM 5% 45.652 TGL 38283

X1 BUCHSENTRAEGER 1.40.551733.5

A3	1.40.581109.2	ABGLEICH
A4	1.40.581106.8	VERSTAERKER
R4	0.0380.0495.3	SWF 1 MOHM 5% 25.412.1 TGL 8728
R71	0.0381.5624.4	SWF 19,6 KOHM 1% 23.207 TK100 TGL 36521
R72	0.0382.6382.5	SWF 10,5 KOHM 1% 23.207 TK100 TGL 36521
S1:4	0.0382.8972.1	SE A2-2 E MK FP1 TGL 38670

A3 ABGLEICH 1.40.581109.2

C4	0.0382.1117.2	KONDENSATOR EDVU-Z-33/50-63 TGL 35781
C5		
UND C6	0.0381.7133.1	KT-KONDENSATOR 0,047/10/630 TGL 55163
R5	0.0381.3830.8	SWF 10 KOHM 5% 25.207.1 TGL 8728
R6	0.0381.3811.3	SWF 47 KOHM 5% 25.207.1 TGL 8728
R7		
BIS R9	0.0381.9085.7	SWV 1 MOHM 10% 513.813 TGL 27423
R10	0.0380.0495.3	SWF 1 MOHM 5% 25.412.1 TGL 8728
R11	0.0382.2591.6	SWF 10 MOHM 5% 25.412.1 TGL 8728
R12		
UND R13	0.0380.8520.4	SWF 511 KOHM 1% 23.412 TK200 TGL 36521
R14	0.0381.3813.8	SWF 150 KOHM 5% 25.207.1 TGL 8728

A4 VERSTAERKER 1.40.581106.8

A2	0.0381.8570.6	SCHALTKREIS B 109 D TGL 28873
C7	0.0382.1117.2	KONDENSATOR EDVU-Z-33/50-63 TGL 35781
C8	0.0380.7671.8	KT-KONDENSATOR 0,047/10/160 TGL 38159
C9	0.0382.1117.2	KONDENSATOR EDVU-Z-33/50-63 TGL 35781
R15	0.0381.9987.3	SWF 5,62 KOHM 1% 23.207 TK200 TGL 36521
R16	0.0381.9519.5	SWV 1 KOHM 10% 513.813 TGL 27423
R17	0.0381.5515.5	SWF 2 KOHM 5% 25.207.1 TGL 8728
R18	0.0381.9987.3	SWF 5,62 KOHM 1% 23.207 TK200 TGL 36521
R19		
UND R20	0.0381.3323.8	SWF 1 KOHM 5% 25.207.1 TGL 8728
R21	0.0381.5333.8	SWF 6,2 KOHM 5% 25.207.1 TGL 8728
R22	0.0381.5632.4	SWF 30 KOHM 5% 25.207.1 TGL 8728
R23	0.0381.3929.2	SWF 1,5 KOHM 5% 25.207.1 TGL 8728
R24	0.0381.3835.5	SWF 4,7 KOHM 5% 25.207.1 TGL 8728 G
R25	0.0381.6020.8	SWF 20 KOHM 5% 25.207.1 TGL 8728
R26	0.0381.3323.8	SWF 1 KOHM 5% 25.207.1 TGL 8728
R27	0.0381.5164.1	SWF 4,3 KOHM 5% 25.207.1 TGL 8728
R28	0.0381.7940.2	SWF 160 KOHM 5% 25.207.1 TGL 8728
R29	0.0381.3321.3	SWF 100 OHM 5% 25.207.1 TGL 8728
R30	0.0381.7176.6	SWF 16 KOHM 5% 25.207.1 TGL 8728
R31	0.0381.3321.3	SWF 100 OHM 5% 25.207.1 TGL 8728
V1	0.0382.2046.2	TRANSISTOR SC 307 D TGL 37871
V2	0.0381.0705.1	SCHALTDIODE SAY 17 L2/4 TGL 25184
V3	0.0382.2046.2	TRANSISTOR SC 307 D TGL 37871

Kurzbezeichn.	Gegenstandsnummer	Bezeichnung
V4	0.0380.5013.0	TRANSISTOR SF 137 C TGL 200-8140
A5	OB. GEHAEUSE MIT BAUGRUPPEN 1.40.551758.5	
A6	1.40.581036.4	LEITERPLATTE, KPL.
A7	1.40.581041.1	SKALENBELEUCHTUNG
A8	1.40.551710.1	LEITERPLATTE, KPL.
P1	1.40.819311.1	MESSWERK DS 19.015 NACH TLB MTM 04/79
R32	0.0380.2863.0	SMV 10 KOHM 1-32A6-685.2012.2 TGL 9100
R62	0.0380.2896.0	SMV 220 KOHM 1-32A6-685.2012.2 TGL 9100
R63	0.0381.8545.8	SMF 196 OHM 1% 23.207 TK200 TGL 36521
R64	0.0381.9701.0	SMF 100 KOHM 1% 23.207 TK200 TGL 36521
R73	0.0381.9707.6	SMF 10 KOHM 1% 23.207 TK200 TGL 36521
S3	0.0382.0307.6	DS 8B2/12-/1-4/12/A6X32 BM2 MK FP1 TGL 38670
S2:1	0.0382.1791.6	DS 10A1-2/10-/10-17/24/A6X32 MSUE45 BM2 MK FP2 TGL 38670
V16	0.0382.1959.8	GLEICHRICHTERDIODE SY 360/1 TGL 35799
V17	0.0382.1959.8	GLEICHRICHTERDIODE SY 360/1 TGL 35799
X2	1.40.079170.0	E-STECKDOSE D I 150
X3	0.0380.8249.2	HF-STECKDOSE 22-6 TGL 200-3800 AU/SN
A6	LEITERPLATTE, KPL., 1.40.581036.4	
C10	0.0382.5301.1	ELYT-KONDENSATOR 220/10 TGL 38908
C11	0.0381.2306.8	T-KONDENSATOR 2,2/20 TGL 200-8519
C12	0.0380.8357.3	KT-KONDENSATOR 0,01/10/160 TGL 38159
C13	0.0382.4119.4	ELYT-KONDENSATOR 22/40 TGL 38908
C14		
UND C15	0.0381.9593.3	MKT-KONDENSATOR 1/10/100 TGL 43199
C16	0.0382.1587.5	KONDENSATOR EDVU-Z-4,7/50-63 TGL 35781
C17	0.0381.9593.3	MKT-KONDENSATOR 1/10/100 TGL 43199
C18	0.0381.7485.7	KT-KONDENSATOR 4700/10/630 TGL 38159
C19	0.0382.1985.4	ELYT-KONDENSATOR 47/25 TGL 38908
C20	0.0382.1514.3	ELYT-KONDENSATOR 10/80 TGL 38908
R33	0.0382.0546.3	SMF 196 KOHM 1% 23.412 TK200 TGL 36521
R34	0.0380.3177.1	SMV 100 KOHM 585.1815.2 TGL 11886
R35	0.0381.9521.8	SMV 4,7 KOHM 10% 513.813 TGL 27423
R36	0.0381.9707.6	SMF 10 KOHM 1% 23.207 TK200 TGL 36521
R37	0.0381.3813.8	SMF 150 KOHM 5% 25.207.1 TGL 8728
R38	0.0381.3011.3	SMF 47 KOHM 5% 25.207.1 TGL 8728
R39	0.0381.5725.3	SMF 300 KOHM 5% 25.207.1 TGL 8728
R40		
UND R41	0.0381.3323.8	SMF 1 KOHM 5% 25.207.1 TGL 8728
R42	0.0381.3838.8	SMF 10 KOHM 5% 25.207.1 TGL 8728
R43	0.0381.5161.7	SMF 200 OHM 5% 25.207.1 TGL 8728
R44	0.0381.4085.6	SMF 1,2 KOHM 5% 25.207.1 TGL 8728
R45	0.0382.0278.2	SMF 7,87 KOHM 1% 23.207 TK200 TGL 36521
R46	0.0381.7328.6	SMF 90,9 KOHM 0,5% 23.207 TK200 TGL 36521
R47	0.0382.4935.3	SMF 100 OHM 1% 23.207 TK200 TGL 36521
R48	0.0381.7308.5	SMF 36,5 KOHM 0,5% 23.207 TK200 TGL 36521
R49	0.0381.6993.1	SMF 147 OHM 1% 23.207 TK200 TGL 36521
R50	0.0381.7206.8	SMF 10 KOHM 0,5% 23.207 TK200 TGL 36521
R51	0.0381.7018.7	SMF 46,4 OHM 1% 23.207 TK200 TGL 36521
R52	0.0381.7268.7	SMF 3,32 KOHM 0,5% 23.207 TK200 TGL 36521
R53	0.0381.3852.3	SMF 1 KOHM 0,5% 23.207 TK200 TGL 36521
R54	0.0381.7354.2	SMF 121 OHM 0,5% 23.207 TK200 TGL 36521
R55	0.0381.7395.2	SMF 562 OHM 0,5% 23.207 TK200 TGL 36521
R56		
UND R57	0.0381.7940.2	SMF 160 KOHM 5% 25.207.1 TGL 8728
R58	0.0381.3323.8	SMF 1 KOHM 5% 25.207.1 TGL 8728
R59	0.0381.3321.3	SMF 100 OHM 5% 25.207.1 TGL 8728
R60	0.0381.7053.1	SMF 178 KOHM 1% 23.412 TK200 TGL 36521
R61	0.0380.3178.8	SMV 220 KOHM 585.1815.2 TGL 11886
S2:2	0.0381.2076.4	SE A8-2 MK FP7 TGL 38670
T1	1.40.581030.7	TRANSFORMATOR 1
V5		
BIS V8	0.0380.4529.5	TRANSISTOR SS 218 C TGL 26818
V9	1.40.811988.3	TRANSISTOR SF 127 DI LV 546 687.0
V10		
UND V11	0.0381.0705.1	SCHALTDIODE SAY 17 L2/4 TGL 25184
V12	0.0381.3769.2	Z-DIODE SZX 21/7,5 TGL 27338 L2/4
V13	1.40.811985.0	GLEICHRICHTERDIODE 1Y 330/15 TLAB 01/83
V14		
UND V15	0.0381.0705.1	SCHALTDIODE SAY 17 L2/4 TGL 25184

Kurzbe-zeichn.	Gegenstands-nummer	B e z e i c h n u n g
A7	SKALENBELEUCHTUNG	1.40.581041.1
E1		
BIS E3	1.40.804804.8	LAMPE MML 3V 25MA GWO-TLA 1/86
A8	LEITERPLATTE, KPL.,	1.40.551710.1
C21	0.0381.9068.0	KONDENSATOR EDVU-Z-68/50-63 TGL 35781
C22	0.0382.1136.5	KONDENSATOR EDVU-Z-10/50-63 TGL 35781
C23	0.0382.1136.5	KONDENSATOR EDVU-Z-10/50-63 TGL 35781
M1	0.0382.3073.7	LED VQA 17 TGL 39723
M2	0.0382.5831.3	LED VQA 37 TGL 39723
M3	0.0382.5588.2	LED VQA 27 TGL 39723
N1	0.0382.1429.6	SCHALTKREIS A 277 D TGL 38011
R66	0.0381.5631.6	SWF 30,1 KOHM 1% 23.207 TK100 TGL 36521
R67	0.0381.5627.7	SWF 22,6 KOHM 1% 23.207 TK100 TGL 36521
R68	0.0381.5440.2	SWF 6,19 KOHM 1% 23.207 TK100 TGL 36521
R69	0.0381.5619.7	SWF 10 KOHM 1% 23.207 TK100 TGL 36521
R70	0.0381.5720.4	SWF 7,5 KOHM 1% 23.207 TK100 TGL 36521
X23		
BIS X25	1.38.812322.5	STECKLOETOESE 1D1 MKD-S 5066

Begleitkarte

zum Röntgen-Gamma-Dosimeter M 2200

Anzeigeteil Nr.: .....

Sonde Nr.: .....

Kontrollstrahlungsquelle Typ QA Nr.: .....

Zertifikat-Nr.: .....

Zeit nach Eichung Monate	Jahre	Abkling-faktor S	Kontrollanzeige $K_0(0) \cdot S$	$K \cdot f$ 1)	Datum Unterschr.	Bem.
0	0	1,000	80 $\frac{\mu Gy}{h}$			Bezugswert
6		0,988	79			
12	1	0,976	78			
18		0,964	77			
24	2	0,952	76			
30		0,940	75			
36	3	0,929	74			
42		0,917	73			
48	4	0,906	72,(5)			
54		0,895	71,(6)			
60	5	0,884	71			
66		0,873	70			
72	6	0,862	69			
78		0,852	68			
84	7	0,841	67			
90		0,831	66,(5)			
96	8	0,821	65,(7)			
102		0,810	65			
108	9	0,801	64			
114		0,791	63			
120	10	0,781	62			

1) Werden von der Eichbehörde Grenzen für die Kontrollanzeige festgelegt, ist in dieser Spalte der Wert $\frac{K \cdot f}{S}$ zu notieren.

S1 Grobmeßbereich	S1:1		S1:2		S1:3			S1:4												Anzeige LED / S3	
	1	0	1	0	1	0	2	8	9	10	11	12	2	3	4	5	6				
▽	●			●		●					●					●					
10 x µGy/h	●		●			●				●					●					H3 / gn	
= 0 =		●		●		●			●					●							
10 x m Gy/h		●		●		●		●					●							H1 / rt	
µ Gy		●	●			●		●					●							H2 / gb	

S2 Feinmeßbereich	S 2:1								a	S 2:2									b		
	1	2	3	4	5	22	23	24	2	3	4	5	6	7	8	9	14	15	16	17	18	19	20	21
○						●											●							●
½							●																●	
300								●														●		
100	●																				●			
30		●																		●				
10			●																●					
3				●														●						
1					●												●							

S3 Kalibrierung Licht	a				b			
	1	2	3	4	7	8	9	10
▽	●				●			
▼ □		●				●		
▼ □			●				●	
▽				●				●

Die Prüfpunkte (1) bis (76) dienen dem Hersteller für interne Prüfungen

- *1) ○ = gleiche Phasenlage
- *2) VERBINDUNG 581 048.5
- *3) rote Leitung
- *4) blaue Leitung
- *5) gehört zu SONDENBODEN, KPL 581 188.4
- *6) " " BUCHSENTRAEGER 1.40.551 733.5
- *7) " " WINKEL, KPL. 581 025.1
- *8) " " DREHSCHALTER, KPL. 581 038.0
- *9) " " CHASSISPLATTE M. BAUGRUPPEN KPL. 1.40.551 707.0
- *10) " " OBERES GEHAEUSE, KPL. 1.40.551 760.8

A Stromlaufplan
Электрическая схема
Wiring Diagram

RÖNTGEN-GAMMA-DOSIMETER M 2200

$$f = \frac{760}{p/\text{Torr}} \cdot \frac{(273 + \vartheta/°C)}{293}$$

$$f = \frac{101{,}33}{p/\text{kPa}} \cdot \frac{(273 + \vartheta/°C)}{293}$$

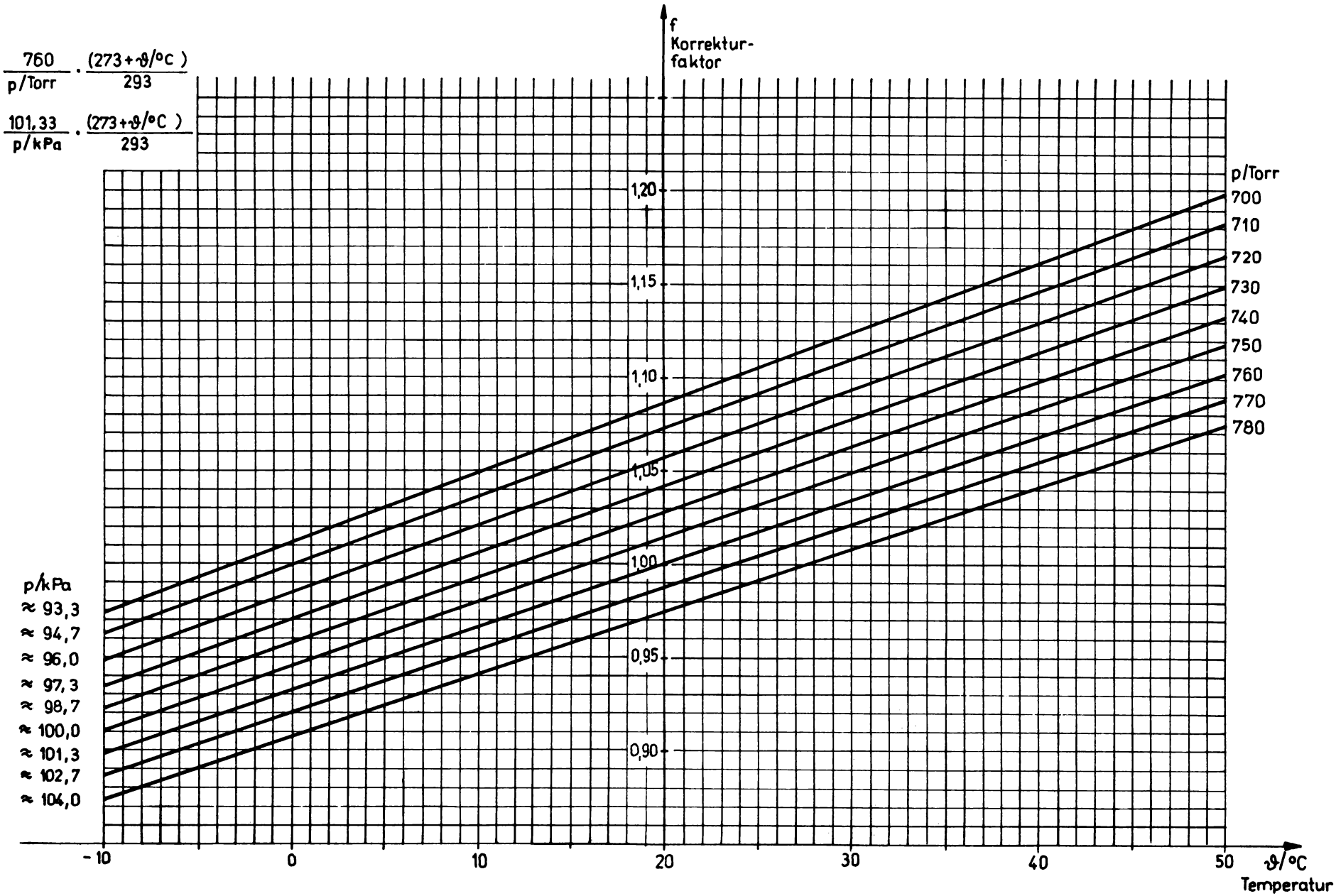


Diagramm 1

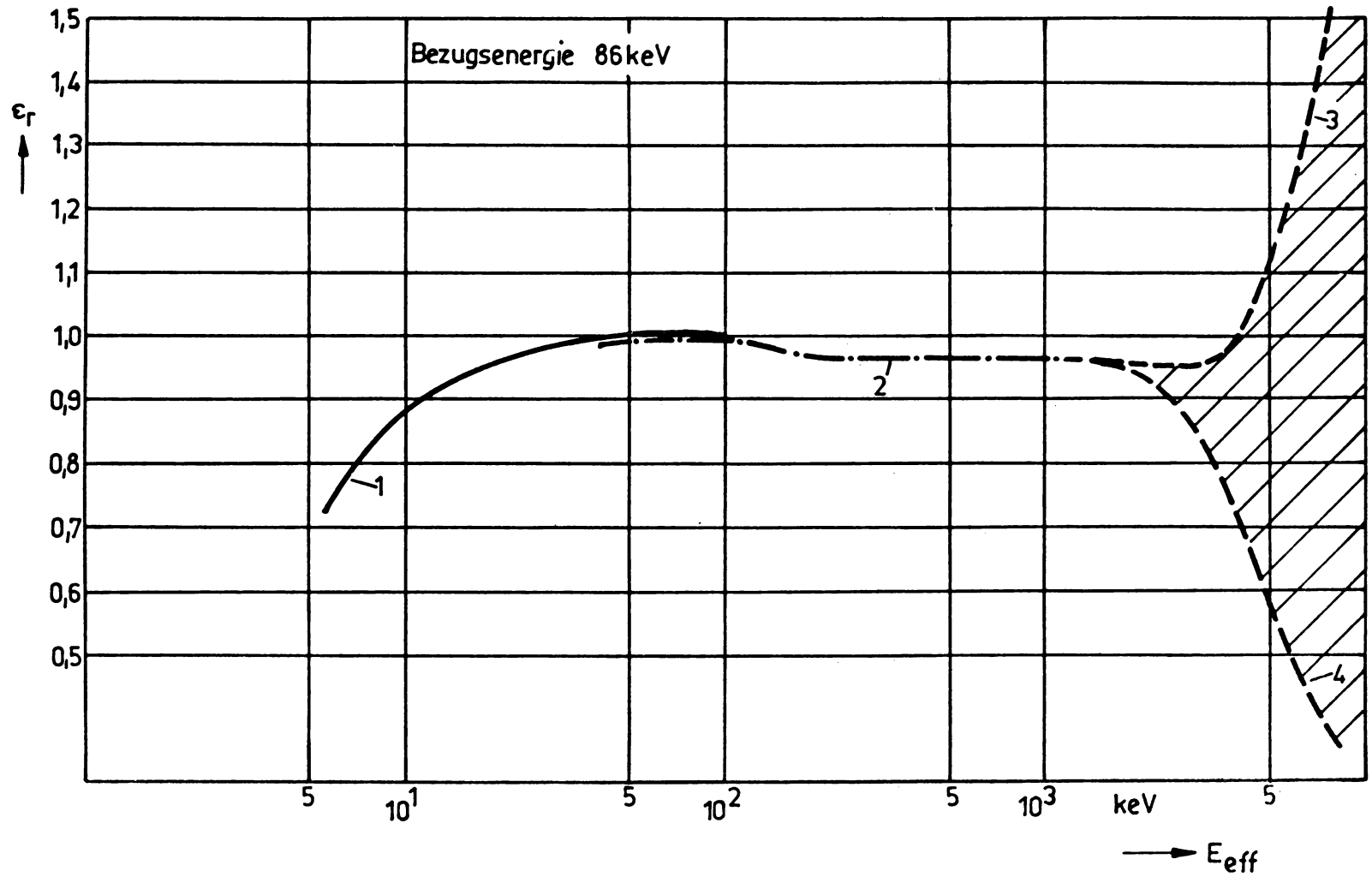


Diagramm 2 Energieabhängigkeit der Anzeige

1 relative Geräteempfindlichkeit ε_r, Sonde ohne Wandverstärkungskappe

2 relative Geräteempfindlichkeit ε_r, Sonde mit Wandverstärkungskappe

3 relative Geräteempfindlichkeit ε_r, Sonde mit Wandverstärkungskappe (maximale Überbewertung hinter Bleiabschirmung, berechnet)

4 relative Geräteempfindlichkeit ε_r, Sonde mit Wandverstärkungskappe (maximale Unterbewertung durch Fehlen von Sekundärelektronen aus der Umgebung, berechnet)